

3D-s optikai mérőrendszer alkalmazhatósága kisméretű törésmechanikai próbatest repedés terjedésének nyomon követésére

Applicability of a 3D optical measuring system to monitor the crack propagation of a small fracture specimen

BÉRES Levente, RÓZSAHEGYI Péter

Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.,
H-3519 Miskolc, Iglói út 2., +36 46/560-110, <http://www.bayzoltan.hu>

Abstract

In some areas, there is a request for kind of test specimens that are smaller than standard fracture mechanics specimens. In the case of smaller non-standard specimens, it is necessary to observe the method for monitoring crack propagation, because the available test methods have been developed for standard specimens. In the present study, we examine the compliance method supported by the optical measuring system (Aramis) and COD gauge which is used for monitoring of crack propagation in small CT specimen.

Keywords: fracture mechanics, compliance method, optical measurement (Aramis), CT specimen, non-standard geometry specimen

Kivonat

Bizonyos területeken igény jelentkezik a szabványos törésmechanikai próbatestektől kisebb méretű próbatestek vizsgálatára. A szabványostól eltérő, kisebb méretű próbatestek esetén szükséges megvizsgálni a repedésterjedés nyomon követésének módszerét, mivel az elérhető vizsgálati módszerek szabványos próbatestekre lettek kidolgozva. Jelen dolgozatban a kisméretű CT próbatestes törésmechanikai vizsgálat esetén fellépő repedésterjedés nyomon követő módszerek közül az optikai mérő rendszerrel (Aramis) és a COD szétnyílás mérővel támogatott compliance módszerrel foglalkozunk.

Kulcsszavak: törésmechanika, compliance módszer, optikai alakváltozás mérés (Aramis), CT próbatest, nem szabványos próbatest geometria

1. Bevezetés

A kis próbatestes vizsgálatok használata ígéretes módja lehet annak, hogy megoldást nyújtson az atomerőműi alapanyagok korlátozottan rendelkezésre álló vizsgálati anyag problémájára. A kisméretű próbatestek használata lehetővé teszi a törési szívósság értékelését más használt próbatestek anyagán. A kisméretű CT0.16 (B = 4 mm) próbatest geometriát választottuk törésmechanikai vizsgálatok elvégzésére, mivel már a már tesztelt normálméretű Charpy mintából is előállíthatók ezek a kisméretű CT0.16-os próbatestek. A szabványostól eltérő, kisebb méretű próbatestek esetén szükséges felülvizsgálni a repedésterjedés nyomon követésének módszerét is, mivel az elérhető vizsgálati módszerek szabványos próbatestekre lettek kidolgozva. A kisméretű CT próbatestes törésmechanikai vizsgálat esetén fellépő repedésterjedés nyomon követő módszerek közül a GOM optikai 3D-s DIC mérő rendszerrel (későbbiekben Aramis) és COD szétnyílásmérővel támogatott compliance módszerrel foglalkoztunk.

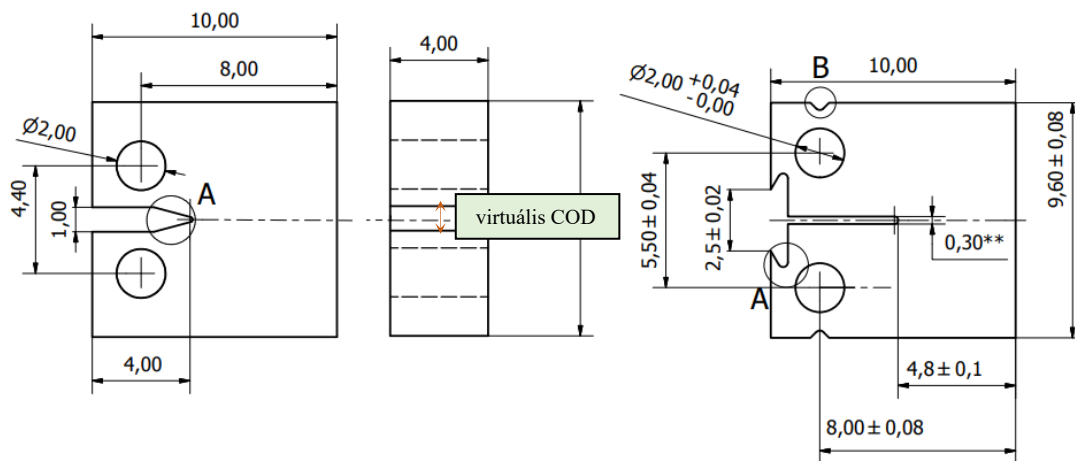
Vizsgálataink során hat különböző anyagcsoporthoz tartozó törésmechanika próbatesteken végeztünk vizsgálatokat, ebből három anyagcsoportnál COD szétnyílásmérő és három anyagcsoport esetében Aramis segítségével figyeltük a repedésterjedést.

Olyan korábbi kísérleteket találtunk eddig, ahol az optikai DIC mérő rendszerrel a próbatestek oldalfelületét vizsgálják, ott követik nyomon a tényleges repedésterjedést [1], [2]. Ennek a módszernek a hátránya, hogy azt nehezebben lehet ilyen módon megállapítani, hogy az anyag belsejében mekkora az aktuális repedésméret, mivel felületi repedésméretet tudunk vele meghatározni; míg a compliance módszer átlagos repedés méretet fog meghatározni. Emellett a kisméretű próbatestek mérete és vizsgálati befogása miatt nincs

lehetőségünk az oldalirányról történő Aramis repedéskövetésre. Ezért a frontoldalon a kisméretű CT homlokfelületének szétnyílását vizsgáltuk előreperesztés közben Aramis mérésünkkel. Később felmerült az igény alacsony hőmérsékleten történő törésmechanikai vizsgálatokra is. Mivel az Aramis optikai mérésének kivitelezése a klímakamra takarása miatt nem lehetséges, ezért beszereztünk egy olyan speciális COD szétnyílásmérőt, amit a CT0.16-os próbatestre is lehet csatlakoztatni. Az előbb felsorolt optikai és COD szétnyílásmérők általunk tapasztalt képességeit fogjuk részletezni a továbbiakban.

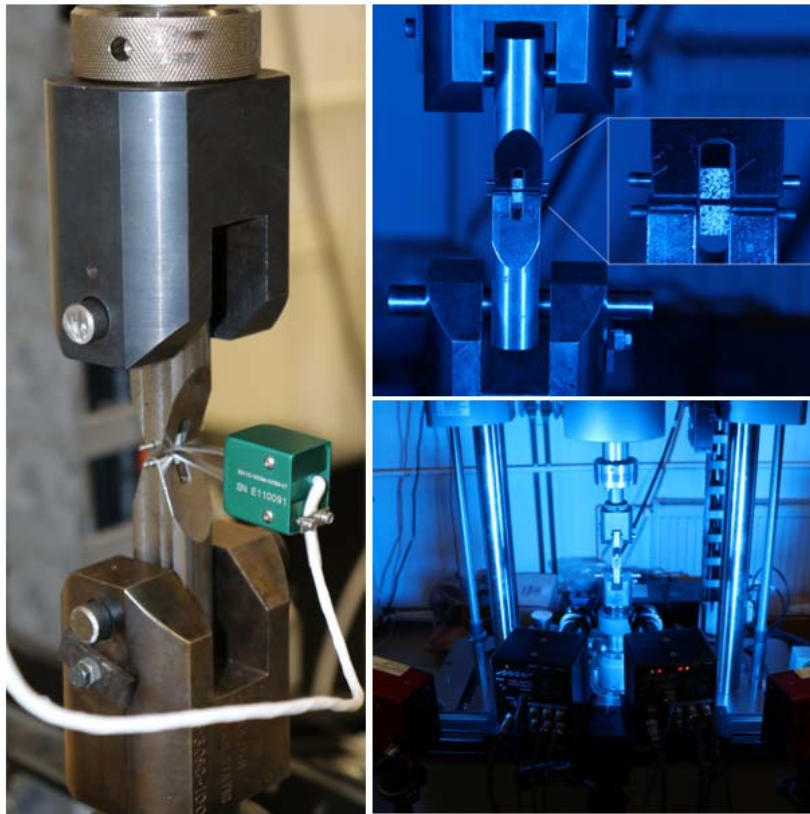
2. Próbatest és mérési módszer

A kisméretű CT próbatestek geometriája az ASTM E1820 [3] szabvány alapján lett meghatározva. Az Aramis-al történő szétnyílásmérés esetében a frontoldali felületre festékszórással egyedi mintázatot helyeztünk el ami alapján az Aramis mérőrendszer nyomon tudja követni előreperesztés során a szétnyílás mértékét. A szoftverben úgy vettük fel a digitális nyúlásmérőt, hogy azok a homlokfelületen középre essenek minél közelebb a kimunkált bemetszés élhez, 1.ábra. A COD szétnyílás mérő esetében a próbatestek úgy lettek kialakítva, hogy a COD szétnyílásmérő is a homlokfelület vonalában kövesse nyomon a próbatestek szétnyílását. A próbatestek geometriája az 1. ábrán látható. Hat különböző minta csoport keretén belül készültek próbatestek, ebből három mintacsoport esetében COD szétnyílásmérővel és három mintacsoport esetében Aramis segítségével követtük nyomon előreperesztés során a repedésterjedést.



1. ábra. Az előreperesztések során alkalmazott CT0.16-os próbatestek. Bal oldalon az Aramissal történő méréshez, míg a jobb oldalon a COD-s repedésméréshez legyártott próbatest geometria látható.

Az előreperesztéseket minden esetben Instron E 10000 Biaxiális (axiális-torziós) elektrodinamikus berendezés segítségével végeztük el. A COD szétnyílás méréshez Epsilon 3541C-003M-025M-LT szétnyílásmérőt használtunk, aminek a befogási távolsága (gauge length) 3,00 mm, az elmozdulás tartománya +2,50 mm/ -1,00 mm. Aramis esetében a mérési sík 25x25 mm², ezen a területen belül bármely egyedi mintázattal ellátott pontok térbeli elmozdulását a mérőrendszer nyomon tudja követni. Az Aramis mérőrendszer Titanar 100 mm-es fókusztávolságú objektívekkel felszerelt Photron Fastcam Mini WX50 kamerából és GOM Correlate 2017 képfeldolgozó szoftverből áll. Mindkét mérőrendszert ellenőriztük Epsilon 3590VHR 20 nanométer pontosságú digitális kalibrátorral. A mérőrendszerek pontossága megfelelt az ASTM E1820 szabvány által támasztott követelményeinek. Az előreperesztések során alkalmazott vizsgálati elrendezések a 2. ábrán láthatók



2. ábra. Vizsgálati elrendezések, bal oldalon COD-val, jobb oldalon lenn és fent Aramissal történő repedésmérés látható.

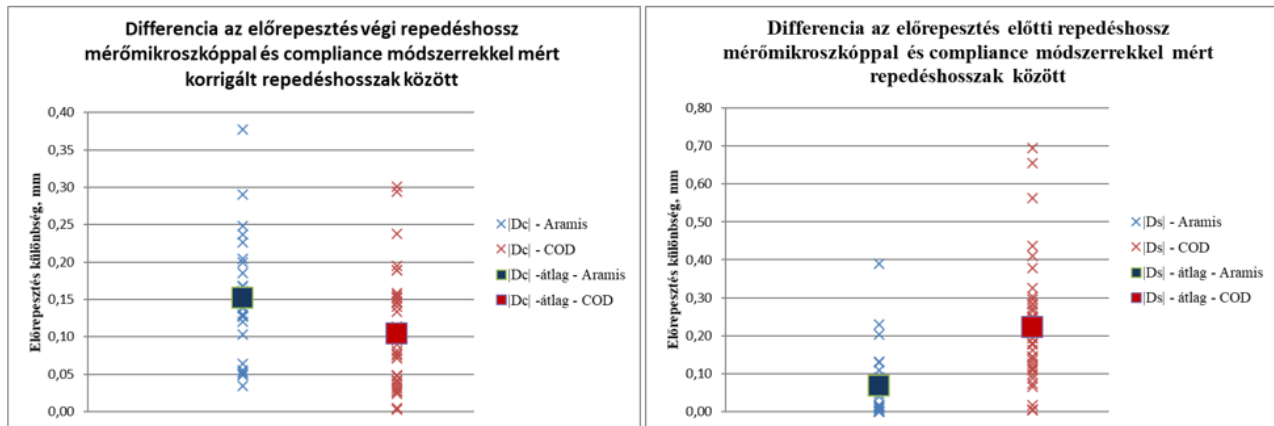
Az előrepszítés során, a homlokfelületen mért szétnyílás mértékéből és az ehhez tartozó erőértékek segítségével az ASTM E1820 szabványban szereplő compliance módszerrel határoztuk meg az aktuális repedés méretének hosszát. A COD szétnyílásmérő esetében a repedés méretét az Instron törésmechanikai vizsgálatvezérlő szoftverével online nyomon tudtuk követni. Az Aramissal történő szétnyílásmérés esetében viszont csak offline repedésmérésre volt lehetőségünk a rendszer jellegéből adódóan. A kamera által rögzített képeket a repedésméret meghatározásához először le kellett tölteni a kamera belső memóriájából, és csak ezután kezdődhetett a képek kiértékelése. Előrepszítés során a terhelés vonalától számított 4 mm-es repedéshosszt kívántunk elérni a kisméretű CT próbatesteken.

Előrepszítés során a következő paramétereket alkalmaztuk minden esetben. A maximális feszültségintenzitási tényező (K_{max}) nem haladta meg a $18 \text{ MPam}^{0.5}$ -t, a ciklikus fel-le terhelés során az aszimmetriatényező (R) értéke 0,1 volt, az előrepszítés pedig 20Hz-es frekvenciával történt. COD szétnyílásmérő alkalmazása esetén a terhelési erőket az Instron törésmechanikai vizsgálatvezérlő szoftvere automatikusan vezérelte az aktuális repedésméret függvényében. Míg az Aramis segítségével nyomon követett repedésterjedés esetében lépcsősen terheltük a próbatesteket. Magasabb terhelési szintről indultunk, és ha a folyamatos monitorozás mellett a repedésterjedés növekedése során a feszültségintenzitási tényező értéke megközelítette a $18 \text{ MPam}^{0.5}$ -t, akkor terhelési szintet csökkentettünk.

3. Vizsgálati eredmények

A compliance rendszeren alapuló mérőrendszerek által mért végleges előrepszítési repedés hosszát összehasonlítottuk a töretfelületen mérőmikroszkóppal lemért tényleges előrepszítési repedés méretével. Azt tapasztaltuk, hogy azokban az esetekben, ahol Aramist alkalmaztunk az előrepszítés mérésére, összesen 26 db próbatest esetében, az átlagos eltérés 0,152 mm volt a tényleges előrepszítés értékétől, ami százalékosan 3,6 %-os eltérést jelent. Aramissal történő repedésmérés esetében az eltérések szórása 0,101 volt. Míg ahol COD-t alkalmaztunk előrepszítés mérésre, összesen 38 db próbatestnél, az átlagos eltérés 0,104 mm volt, ami százalékosan 2,6 %-os eltérést jelent. COD-val történő repedésmérés esetében az eltérések szórása 0,13 volt.

A fenti compliance módszerrel mért végleges repedésméreték már korrigált repedésméreték, mivel azt tapasztaltuk, hogy mind a COD mind az Aramis segítségével történő repedésmérés esetében a kezdeti repedés (előrepezítés előtti repedéshossz) értékek eltértek a tényleges mérőmikroszkóppal mért értéktől. Ezért az előrepezítés kezdetén kompenzáltuk a compliance módszerrel mért kezdeti repedés értékeket a valós repedésméreteknek megfelelően. Aramis esetében ez az átlagos kezdeti eltérés 0,067 mm volt, ami százalékosan 3,8 %-os eltérést jelent a tényleges kezdeti repedésméret és a compliance módszerrel mért repedésméret között. Míg COD esetében ez az átlagos eltérés 0,222 mm volt, ami átlagosan 6,7%-ot jelent. A mért eltéréseket a 3. ábrán ábrázoltuk.



3. ábra. A töretfelületen mért valós és a compliance módszerekkel mért repedés méretek különbsége az előrepezítés előtti és az előrepezítés végső állapotában

4. Összegzés

A kisméretű CT próbatestek előrepezítése során azt tapasztaltuk, hogy a COD szétnyílás mérő alkalmazása kevesebb erőforrást igényel a compliance repedésméréshez, mint a 3D-s optikai felületi alakváltozás mérő Aramis. Az előrepezítést gyorsabban el lehet végezni, mivel kevesebb előkészületet igényel a mérőrendszer felállítása, a mérőeszköz kalibrálása is gyorsabb, ezen felül a COD szétnyílásmérő esetében a számolt repedésméret növekedést azonnal látjuk az online vizsgálatvezérlő szoftver segítségével.

A valós és a compliance módszerrel mért repedés méret közötti átlagos kumulált eltérés a COD-s mérés esetében 0,326 mm (8,15%), míg az Aramis esetében 0,219 mm (5,48%). Méréseink azt mutatják, hogy Aramissal 33%-kal pontosabb vizsgálat közbeni repedésméretet lehet meghatározni kisméretű próbatesteknél, mint a COD szétnyílásmérő segítségével. Ennek oka az lehet, hogy az Aramissal történő szétnyílás mérés esetében közvetlenül a próbatestek homlokfelületén felvett pontok szétnyílását méri a mérőrendszer; míg a COD szétnyílásmérő használata során az a módszer, ahogy COD szétnyílásmérő szárait illesztjük a próbatestre, további bizonytalanságot vihet a mérési rendszerbe. További elemzéseket és méréseket tervezünk végezni annak érdekében, hogy mindkét módszer esetében a mérési pontatlanság okait felderítsük és annak mértékét tovább csökkentjük.

Irodalmi Hivatkozások

- [1] Tu H., *Numerical Simulation and Experimental Investigation of the Fracture Behaviour of an Electron Beam Welded Steel Joint*, Springer Thesis, Stuttgart, 2018.
- [2] Gebauer J., Šofer P., Jurek M., Wagnerová R., Czebe J., *Machine Vision-Based Fatigue Crack Propagation System*, Sensors, MDPI, 2022, 22, 6852.
- [3] ASTM E1820. Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness